

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 01-134402

(43)Date of publication of application : 26.05.1989

(51)Int.Cl.

G02B 6/12  
G02F 1/03

(21)Application number : 62-291958

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 20.11.1987

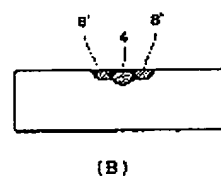
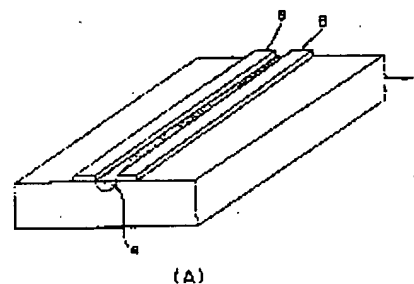
(72)Inventor : KONO KENJI  
KITO TSUTOMU

## (54) LIGHT GUIDE

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To decrease driving voltage, coupling loss and demultiplexing/ multiplexing losses or to decrease the radiation loss of a ridge light guide by diffusing two kinds of diffusing materials into a substrate or diffusing the 2nd diffusing material from the working surface of the ridge light guide.

**CONSTITUTION:** The pattern of Ti is formed as a 1st diffusing material by an ordinary lift-off method on the LiNbO<sub>3</sub> substrate 1 and the temp. is raised to about 1,000° C for several hours to diffuse the Ti into the LiNbO<sub>3</sub> substrate 1. After a resist is uniformly applied again on the LiNbO<sub>3</sub> substrate 1 formed with the light guide 4, the resist in the part except the upper part of the light guide 4 is removed. Further, MgO as the 2nd diffusing material is deposited by evaporation over the entire surface and thereafter, the resist is removed by a remover to form the thin film pattern 8 of the MgO. This LiNbO<sub>3</sub> substrate 1 is heated to about 100° C, by which the MgO is diffused to the sideways of the light guide 4 without changing the distribution of the previously diffused Ti to provide a refractive index matching part 8'. The driving voltage is thereby lowered and the radiation loss in the demultiplexing/multiplexing part and the radiation loss on the surface of the light guide are decreased.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平1-134402

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成1年(1989)5月26日

G 02 B 6/12

A-7036-2H

J-7036-2H

G 02 F 1/03

C-8106-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 光導波路

⑯ 特 願 昭62-291958

⑰ 出 願 昭62(1987)11月20日

⑱ 発 明 者 河 野 健 治 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 発 明 者 鬼 頭 勤 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑳ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉑ 代 理 人 弁理士 谷 義 一

## 明 細 書

### 1. 発明の名称

光 導 波 路

### 2. 特許請求の範囲

- 1) 基板上に第1の拡散物質を拡散して形成された光導波路と、該光導波路の中心部付近以外の部分に、前記光導波路の屈折率分布を整形する第2の拡散物質を拡散して成る屈折率整形部とを具えたことを特徴とする光導波路。
- 2) 特許請求の範囲第1項記載の光導波路において、前記光導波路および前記屈折率整形部を、単一の拡散処理により同時に形成したことを特徴とする光導波路。
- 3) 特許請求の範囲第1項記載の光導波路において、前記光導波路はリッジ形状を有し、前記屈折率整形部は、前記リッジ形状の光導波路に前記第2の拡散物質を付着させ、これを拡散することにより形成されていることを特徴とする光導波路。

### 3. 発明の詳細な説明

#### [産業上の利用分野]

本発明は、光導波路に関し、特に光変調素子用光導波路において、その損失および駆動電圧の低減化を図るとともに、動作速度の高速化並びに小型化を図ったものである。

#### [従来の技術]

光変調用デバイスにおいては、その損失および駆動電圧の低減化がデバイス性能を向上する上で極めて重要である。また、動作の高速化のためには、マイクロ波回路を低電力化すべく、駆動電圧を低減化することは特に必要不可欠の条件となる。

第8図(A)および(B)は、それぞれ、x-カットのニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)単結晶を基板とし、進行波電極を用いた導波路形光位相変調器の斜視図および断面図である。図中、1はLiNbO<sub>3</sub>基板、2および3は変調信号を光導波路4に供給するための進行波形変調電極(コプレーナ・ストリップ)であり、それぞれ、中心導体および接地導

体をなす。

〔発明が解決しようとする問題点〕

かかる変調器をまず駆動電圧の観点から考察する。

第9図(A)および(B)は、本例のTIパターンを熱拡散して形成した光導波路4を伝播する光の強度分布を示す。第9図(A)では、横軸に変数として基板表面方向の位置 $x$ を取り、同図(B)では横軸に変数として基板深さ方向の位置 $y$ を取っている。なお、 $y=0$ は基板表面上を、 $x=0$ は熱拡散前のTIパターンの中心を表わしている。これら図から明らかなように、 $x$ 方向の光強度分布は $y$ 方向での分布と比べてかなり広がっている。光位相変調器の駆動電圧のフィギュア・オブ・メリットとしては、電気光学効果により光の位相を $\pi$ だけずらすに必要な電圧 $V\pi$ と電極長 $L$ との積 $V\pi \cdot L$ が考えられる。この $V\pi \cdot L$ は導波路内の光の強度分布と変調信号の電界分布の重なり積分に比例する。すなわち、Applied Optics (vol.19, No.4, pp.591-597, 1980)に説明されているように、一

径の $1/2$ )であり、 $w_r$ はSMFのスポットサイズである。また、 $m$ は導波路のスポットサイズがSMFのスポットサイズに近くなるように、レンズによりビーム変換する場合の像倍率である。このときの最大結合効率 $\eta_{max}$ は、

$$\partial\eta/\partial m = 0 \quad (4)$$

を満足する条件から求まり、

$$m = w_r / \sqrt{w_x w_y} \quad (5)$$

$$\eta_{max} = 4 / (\sqrt{w_y/w_x} + \sqrt{w_x/w_y})^2 \quad (6)$$

となる。

つまり、 $x$ 方向、 $y$ 方向における光導波路のスポットサイズ $w_x$ 、 $w_y$ の比が大きいと、光導波路とSMFとの結合効率が小さくなる。なお、 $m=1$ の場合は光導波路とSMFとの直接結合の場合であり、(2)、(3)式は光導波路とSMFの直接結合の場合をも包含している。

次に、進行波電極形マッハツェンダ光強度変調器について考える。

第10図は従来のこの種強度変調器の斜視図である。このようなマッハツェンダ形光強度変調器で

般に $x$ 方向の拡散定数は $y$ 方向のものと比較して大きいので、光導波路内の光の $x$ 方向のモードフィールド径(光強度分布が $1/e^2$ となる全幅)が大となり、第8図示の構成では $V\pi \cdot L$ を低減できないという問題点がある。

さらに、第8図示の光位相変調器を挿入損失の観点から考察する。光変調器への光の入出力は一般に単一モード光ファイバ(Single-mode Fiber: 以下SMFと略す)で行われるが、その場合の結合効率 $\eta$ は次式で近似的に求められる。なお、SMFと光導波路の電界分布をガウスビームで近似する。

$$\eta = \eta_x \cdot \eta_y \quad (1)$$

ここで、 $\eta_x$ 、 $\eta_y$ はそれぞれ $x$ 方向、 $y$ 方向での結合効率であり、

$$\eta_x = 2 / [(m w_x / w_r) + (w_r / m w_x)] \quad (2)$$

$$\eta_y = 2 / [(m w_y / w_r) + (w_r / m w_y)] \quad (3)$$

ここで $w_x$ および $w_y$ は、それぞれ、光導波路を伝播する光強度分布の $x$ 方向および $y$ 方向のスポットサイズ(ガウスビームではモードフィールド

径の $1/2$ )であり、 $w_r$ はSMFのスポットサイズである。また、 $m$ は導波路のスポットサイズがSMFのスポットサイズに近くなるように、レンズによりビーム変換する場合の像倍率である。このときの最大結合効率 $\eta_{max}$ は、

$$\eta \propto \exp[-\pi^2 w^2 \theta^2 / \lambda^2] \quad (7)$$

で粗く推定できる。ここで、 $w$ は導波路のスポットサイズ、 $\theta$ は分岐角の $1/2$ の値、 $\lambda$ は波長である。(7)式より明らかなように、スポットサイズ $w$ が大きいと分岐および合波部分における透過率 $\eta$ は小さくなる。さらにスポットサイズが大きくなると $V\pi \cdot L$ が大きくなることは第8図に示した光位相変調器の場合と同様である。

さらに、従来のリッジ光導波路においては、リッジ加工時の表面の荒れに起因して、リッジ加工面からの放射損失が大きくなるという問題点があ

った。

本発明は拡散光導波路において、基板表面に平行な方向の拡散定数が大きいために基板表面方向のスポットサイズが大きくなることに起因した上記問題点、すなわち駆動電圧、結合損失、分岐および合波損失の増加、あるいはリッジ光導波路においてリッジ加工面の荒れに起因する放射損失の増加等の点を解決した光変調器用光導波路を提供することを目的とする。

#### 【問題点を解決するための手段】

そのために、本発明は、基板上に第1の拡散物質を拡散して形成された光導波路と、光導波路の中心部付近以外の部分に、光導波路の屈折率分布を整形する第2の拡散物質を拡散して成る屈折率整形部とを具えたことを特徴とする。

#### 【作用】

本発明では、少なくとも2種類の拡散物質を拡散し、あるいはリッジ光導波路の加工表面から第2の拡散物質を拡散することにより、光導波路とその周辺部との屈折率差が大となるようにして、

向のスポットサイズを大きくすることによりSMFとの結合効率を改善しているものである。本発明では、光導波路の中心部付近以外の部分に追拡散を行っており、さらにあくまでx方向のスポットサイズを小さくすることが目的であるので、本質的に異なった技術である。また、後者の文献では光導波路の曲がり部分の外側にMgOを拡散しているが、これは曲がり部分において光導波路とその外側周辺との屈折率差を小さくし、放射損失を抑制しようとするものである。一方、本発明では分岐・合波部の低損失化を図るとともに、光導波路の両側へ拡散させることによりx方向のスポットサイズを小さくするものであって、この文献の手法とは異なっている。

#### 【実施例】

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

第1図(A)および(B)は本発明の第一の実施例を説明する図であり、光位相変調器に使用する直線導波路について示している。この製造方法を以

て基板表面方向(x方向)における光のとじ込めを強くしている。その結果、拡散光導波路においては、x方向のスポットサイズを小さくでき、駆動電圧の低減化が可能となるばかりでなく、x方向と基板の深さ方向(y方向)のスポットサイズの比を1に近づけることができるので、例えばレンズ結合により光導波路とSMFとを結合する場合、その結合効率を大きくできる。さらには、マッハツェンダ光強度変調器において分岐・合波部における放射損失の抑制が可能となる。一方、リッジ光導波路においては、リッジ加工面付近における屈折率が低くなるため、電磁界がリッジ加工表面まで達しなくなり、加工表面の荒れに起因する放射損失を小さくできる。

なお、こうした2種類の拡散物質を拡散する技術としては、既に電子通信学会光・電波部門全国大会、No.270(昭和61年度)あるいはElectronics Letters, vol.23, pp.797-798, 1987が報告されている。しかしながら、前者はMgを基板表面全面に形成した後に拡散を行うものであり、またy方

下説明する。

まず、LiNbO<sub>3</sub>基板1上に通常のリフトオフ法により第1の拡散物質としてTiのパターンを形成する。すなわち、例えばLiNbO<sub>3</sub>基板1上にフォトリソストを一樣にスピナーで塗布し、フォトリソを用いて上記レジストを露光した後、現像することにより導波路パターンと同形の幅数μmの溝を形成する。さらに全面にTiを数100Å蒸着した後、レジストをリムーバで除去すればTiの導波路パターンが形成される。その後、数時間にわたり温度を約1000℃程度に上げ、TiをLiNbO<sub>3</sub>基板1中に拡散させる。

次に、このようにして光導波路4を形成したLiNbO<sub>3</sub>基板1上に再度レジストを一樣に塗布した後、導波路4の上部以外の部分のレジストを同様の手法で除去する。さらに、例えば第2の拡散物質としてのMgOを全面に蒸着した後、レジストをリムーバで除去し、MgOの薄膜パターン8を形成する。第1図(A)はこの時点での斜視図を表わしている。

この後、この $\text{LiNbO}_3$ 基板1を数100℃(例えば300℃程度)に上げることにより、第1図(B)に示すように、前もって拡散したTiの分布を変えることなく $\text{MgO}$ を光導波路4の側方に拡散して屈折率整形部8'を設けることができる。

第2図(A)～(C)はその結果生じる屈折率差 $\Delta n$ の分布を示す。同図(A)はTiのみを熱拡散した場合の屈折率差 $\Delta n$ の分布である。また、同図(B)は $\text{MgO}$ のみを熱拡散した場合の屈折率差 $\Delta n$ の分布であり、 $\text{MgO}$ が拡散された部分の屈折率差 $\Delta n$ は負となっていることがわかる。同図(C)はTiと $\text{MgO}$ の双方を拡散した場合の屈折率差 $\Delta n$ であり、同図(A)と(B)とを重ねたものとなっており、Ti部分において現れる屈折率差 $\Delta n$ のピーク値とそのわきの $\text{MgO}$ 部分において現れる最小値との差は、Tiのみを熱拡散した同図(A)の場合と比較して大きくなっている。

第3図は横軸に第2図(B)に示した $\text{MgO}$ 薄膜パターンのギャップをとり、縦軸に光導波路4のx方向におけるスポットサイズをとった場合の定性

広がりやy方向のものより大きい、x方向におけるとじ込みが強くなっている、この非対称性も緩和される。そのため、光入出力用SMFとの結合に、例えばApplied Optics(vol.25, No.15, pp.2800～2805, 1988)に示されたようなレンズ系を用いれば、(1)式から明らかなように光結合損失を大幅に改善できる。

第5図は、マッハツェンダ形光強度変調器において光の分岐・合波部に本発明を適用した場合の斜視図を示している。図中の8が $\text{MgO}$ の薄膜パターンである。

このようなマッハツェンダ形光強度変調器に対しては、第1図の例と同様に、光の入出力部分および信号電界の印加部分のみでなく、図示のようにマッハツェンダ形光導波路5の分岐・合波部分に本発明を適用すれば、上述と同様に光のとじ込みが強くなり、導波光のスポットサイズが小となるので、(7)式から分岐・合波による放射損失を小さくできることがわかる。

なお、本発明を光導波路の一部分、例えば変調

的な図である。同図から明らかなように、 $\text{MgO}$ 薄膜パターンのギャップが零のとき、すなわち光導波路の上即全面に $\text{MgO}$ を形成・拡散すると、Tiのみを熱拡散した場合(破線)よりも、x方向のスポットサイズはかなり大となる。このギャップを徐々に広げていくと、このスポットサイズは徐々に小さくなり、ある点で最小となる。さらにギャップを広げると、Tiのみを熱拡散した場合に漸近していく。スポットサイズの最小値とそれの場合の $\text{MgO}$ のギャップとは、 $\text{MgO}$ 薄膜の厚さと熱拡散温度と時間とに依存している。

第4図は光導波路4のy方向のスポットサイズを $2\mu\text{m}$ とし、x方向のスポットサイズを変化させたときの $V_{\pi}$ を表わしている。なお、光導波路4内の電界分布は、y方向を1次のエルミート・ガウス関数に、x方向をガウス関数に近似させている。図より明らかなように、x方向のスポットサイズが小さくなるにつれて $V_{\pi}$ が減少している。

また、前述のようにx方向における光の分布の

用電極と相互作用する部分や、分岐・結合部分あるいは光入出力端部に適用する場合には、 $\text{MgO}$ 薄膜端部で屈折率が不連続となる。それを避けるには、例えば第6図に示すように、 $\text{MgO}$ 薄膜パターン8の端部を例えばテーパ形状とし、徐々に光導波路4より離隔させて行くことが有効である。

第7図はリッジ形光導波路に本発明を適用した実施例である。本例によると、リッジ表面の屈折率が拡散された $\text{MgO}$ のために $\text{LiNbO}_3$ のものより低くなるため、リッジ形成時における表面の荒れに起因する光導波路の放射損失を小さく抑えることができる。

なお、上述した各実施例では、Tiの薄膜パターンを熱拡散した後 $\text{MgO}$ の薄膜パターンを追形成し、これを追熱拡散するようにしたが、屈折率を低減できるものであれば、 $\text{MgO}$ 以外の他の種類の薄膜パターンを用いてもよい。また、Ti薄膜パターンと $\text{MgO}$ 薄膜パターンもしくはTi薄膜パターンに加えて他の種類の薄膜パターンを $\text{LiNbO}_3$ 基板上に形成し、同時に熱拡散するようにしてもよ

い。

さらに、基板としては、例えばソーカットあるいはエーカットLiNbO<sub>3</sub>でもよいし、さらにLiNbO<sub>3</sub>以外のLiTaO<sub>3</sub>等の誘電体あるいはGaAs等の半導体基板でもよい。加えて、導波路に用いる物質についても、Ti以外の熱拡散物質でもよく、例えばリチウム外拡散導波路やプロトン交換導波路等他の種類の導波路とすることができる。また、導波路周辺部の形成法としても、屈折率を低減できるものであれば他の手法を用いても本発明の効果を得ることができるのは勿論である。

さらに加えて、外部の光入出力回路はSMFのみならず、半導体レーザその他の光導波路でもよい。

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光導波路を伝播する光のとじ込めが大きくなり、駆動電圧の低減化が可能となるとともに、例えばマッハツェンダ形光導波路等の場合の分岐・合波部における放射損失やリッジ光導波路の表面の荒れに起

図、

第8図(A)および(B)は、それぞれ、従来の光導波路を用いた光位相変調器を示す斜視図および断面図、

第9図(A)および(B)は第8図(A)および(B)に示した光導波路内の直交する2方向の光の強度分布を示す説明図、

第10図は従来の光導波路を用いたマッハツェンダ形光強度変調器を示す斜視図である。

- 1…LiNbO<sub>3</sub>基板、
- 2、3…進行波電極（コプレーナ・ストリップ）、
- 4…直線光導波路、
- 5…マッハツェンダ形光導波路、
- 6、7…進行波電極（コプレーナ・ウェーブ・ガイド）、
- 8…MgO薄膜。

特許出願人 日本電信電話株式会社

代理人 弁理士 谷 義 一

因する放射損失が小さくなる。さらに導波光のx方向とy方向の非対称性も緩和できるので、例えばレンズ等によるビーム変換を行えば、外部の光入出力回路との結合効率を改善できるという利点もある。

#### 4. 図面の簡単な説明

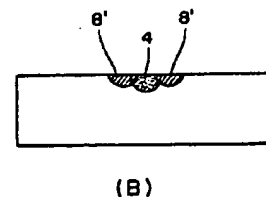
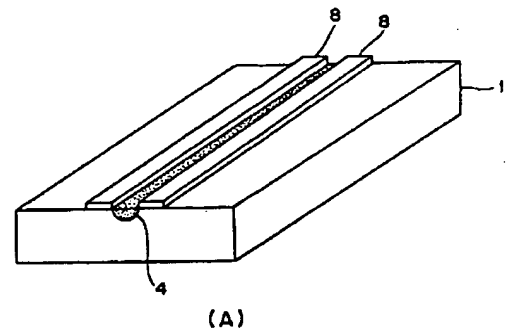
第1図(A)および(B)は本発明の一実施例を示し、それぞれ、光位相変調器に使用可能な直線導波路の構成過程の状態を示す斜視図および構成された直線導波路の断面図、

第2図(A)～(C)、第3図および第4図は第1図示の実施例における屈折率分布等の整形の原理を説明するための説明図、

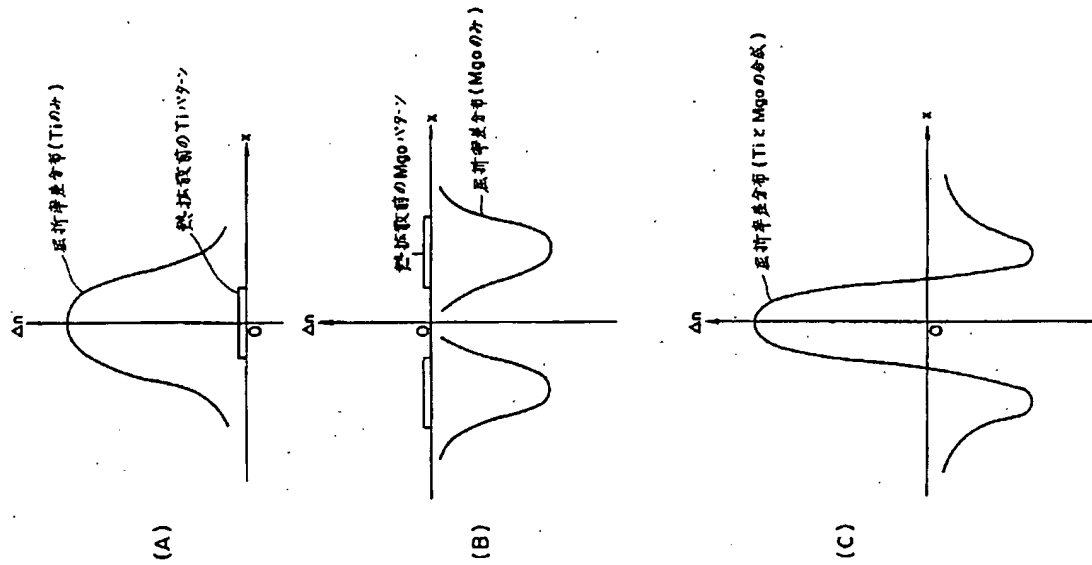
第5図は本発明の他の実施例として、本発明をマッハツェンダ形光強度変調器に適用した例を示す斜視図、

第6図は本発明に係る第2の拡散物質の形成態様の一実施例を示す平面図、

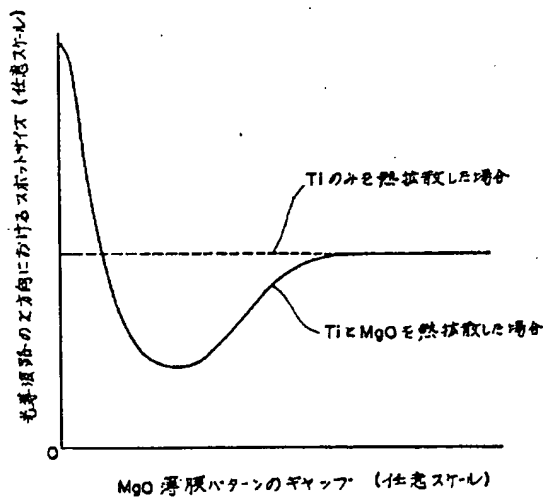
第7図は本発明のさらに他の実施例として、本発明をリッジ形光導波路に適用した例を示す断面



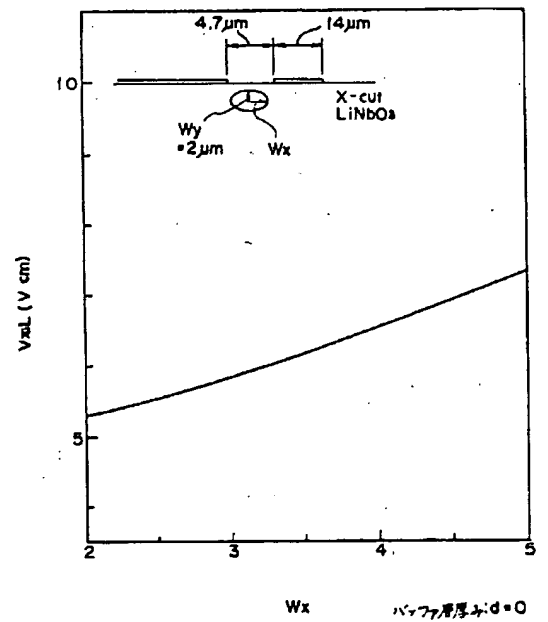
第 1 図



第2図

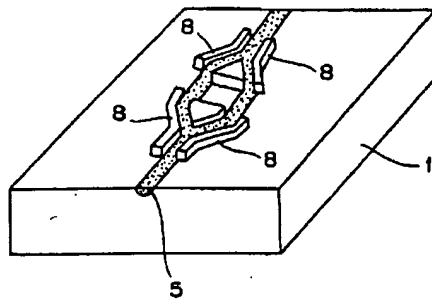


第3図

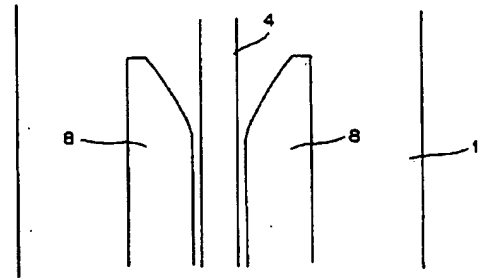


第4図

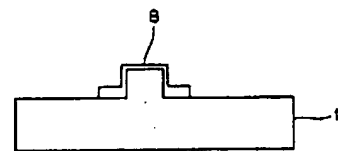




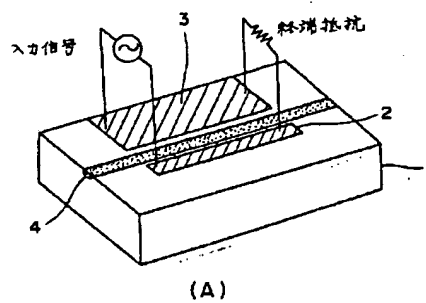
第 5 図



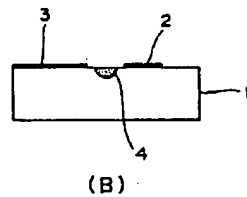
第 6 図



第 7 図

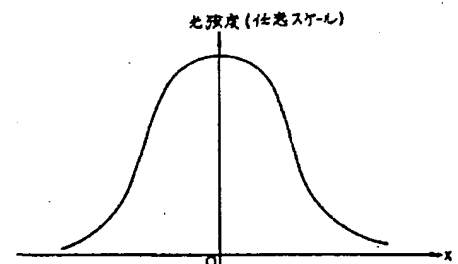


(A)

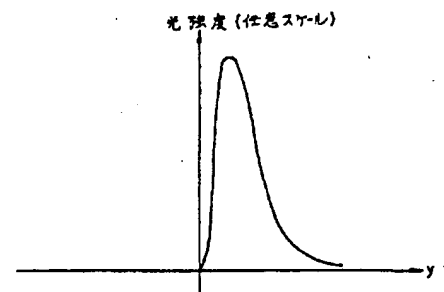


(B)

第 8 図

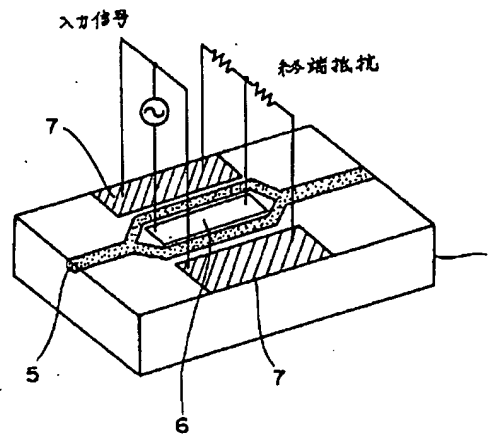


(A)



(B)

第 9 図



第10図

平成 4. 6. 29 発行

手続補正書

平成 4 年 2 月 27 日

特許庁長官 殿

特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載  
昭和 62 年特許願第 291958 号 (特開平  
1-134402 号, 平成 1 年 5 月 26 日  
発行 公開特許公報 1-1345 号掲載) につ  
いては特許法第 17 条の 2 の規定による補正があっ  
たので下記のとおり掲載する。 6 ( 2 )

Int. Cl. <sup>5</sup>	識別 記号	庁内整理番号
G02B 6/12		A-7036-2K J-7036-2K C-8106-2K
G02F 1/03		

1. 事件の表示

特願昭 62-291958 号

2. 発明の名称

光導波路の製造方法

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人  
(422) 日本電信電話株式会社

4. 代理人

住 所 〒107

東京都港区赤坂 5 丁目 1 番 31 号  
第 6 セイコービル 3 階

電 話 (03) 3589-1201 (代表)

氏 名 (7748) 弁理士 谷 義 一

5. 補正命令の日付 自 発

6. 補正の対象

明 細 書

7. 補正の内容

(1) 発明の名称を「光導波路の製造方法」と補正する。

(2) 特許請求の範囲を別紙の通り補正する。

(3) 明細書第 2 頁第 3 行目～第 6 行目の「本発明は、…ものである。」とあるを、次のように補正する。

「本発明は、光導波路の製造方法に関し、特に光変調素子用光導波路の損失および駆動電圧の低減化を図ることができるとともに、動作速度の高速化並びに小型化を図ることのできる光導波路の製造方法に関する。」

(4) 同書第 7 頁第 8 行目～第 8 頁第 2 行目の「解決した光変調器用光導波路…拡散光導波路」とあるを、次のように補正する。

「解決する光変調器用光導波路の製造方法を提供することを目的とする。

【問題点を解決するための手段】

そのために本発明は、基板上に、その内部に拡散された時に屈折率を上げる第 1 の拡散物質

を所望のパターンに形成し、その後熱拡散させて光導波路を形成する工程と、前記光導波路の中心部付近以外の部分に、その内部に拡散された時に屈折率を下げる第 2 の拡散物質を所望のパターンに形成し、その後熱拡散させて、前記光導波路の屈折率分布を整形する屈折率整形部を形成する工程と、からなることを特徴とする。

【作用】

本発明によれば、光導波路を形成するための第 1 の拡散物質と、屈折率整形部を形成するための第 2 の拡散物質とを適切にパターンニングして拡散することにより、例えば第 1 の拡散物質によるリッジ光導波路の加工表面に第 2 の拡散物質を付着させて拡散することにより、光導波路とその周辺部との屈折率差が大きく、基板表面方向 (X 方向) における光のとじ込みが強い光導波路が製造される。

その結果得られる拡散光導波路」

(5) 同書第 15 頁第 16 行目「本発明によれば」とあ

平成 4. 6. 29 発行

るを、「本発明によって製造された光導波路に  
あつては」と補正する。

以 上

特許請求の範囲

1) 基板上に、その内部に拡散された時に屈折率  
を上げる第1の拡散物質を所望のパターンに形  
成し、その後熱拡散させて光導波路を形成する  
工程と、

前記光導波路の中心部付近以外の部分に、そ  
の内部に拡散された時に屈折率を下げる第2の  
拡散物質を所望のパターンに形成し、その後熱  
拡散させて、前記光導波路の屈折率分布を整形  
する屈折率整形部を形成する工程と、

からなることを特徴とする光導波路の製造方  
法。

2) 前記光導波路をリッジ形状に加工し、その  
後、当該リッジ形状の光導波路の表面にその内  
部に拡散された時に屈折率を下げる前記第2の  
拡散物質を付着させ、拡散させることにより前  
記屈折率整形部を形成することを特徴とする特

許請求の範囲第1項に記載の光導波路の製造方  
法。

(以下余白)